

ارزیابی زیست‌محیطی آلودگی روی، کادمیوم و سرب در آب، رسوب و میگوی رودخانه‌ای شرق (*Macrobrachium nipponense* De Haan, 1849) در تالاب آلاکل

چکیده

هدف از این مطالعه تعیین غلظت روی، کادمیوم و سرب در آب سطحی، رسوب و میگوی رودخانه‌ای شرق (*Macrobrachium nipponense*) در تالاب آلاکل در بهمن ۱۳۹۴ بود. نمونه‌های آب و رسوب به ترتیب به‌وسیله بطری روتنر و گراب اکمن جمع‌آوری شد. میگوها با استفاده از تله تاشو (Funnel Trap) گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند. غلظت فلزات در نمونه‌ها (میگو، آب و رسوب) به‌وسیله دستگاه جذب اتمی کوره گرافیتی و شعله اندازه‌گیری گردید. در این مطالعه، میانگین غلظت روی، کادمیوم و سرب به ترتیب در آب ۰/۰۴، ۰/۰۸ و ۰/۱۱ میلی‌گرم بر لیتر و همچنین برای نمونه‌های رسوب ۱/۸۷، ۰/۱ و ۱/۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. میانگین غلظت روی، کادمیوم و سرب در عضله میگو به ترتیب ۲۹/۲۴، ۰/۵۸ و ۲/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه‌گیری شد. غلظت روی در آب کمتر از حداکثر حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (WHO) بود، اما غلظت سرب و کادمیوم در آب از حد مجاز پیشنهادشده توسط WHO فراتر بودند. در مطالعه حاضر، غلظت روی، سرب و کادمیوم در رسوبات کمتر از میانگین رسوبات جهانی و میانگین پوسته بود. سرب در عضله میگو از حد مجاز پیشنهادشده توسط WHO فراتر بود، اما غلظت روی و کادمیوم در عضله میگو از حداکثر حد مجاز WHO کمتر بودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تالاب آلاکل به‌وسیله فلزات سنگین به‌ویژه سرب و کادمیوم تهدید می‌شود.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، تالاب آلاکل، میگو، آب و رسوب.

حسین علی پور^{۱*}

غلامرضا کریمی^۲

ثمر مرتضوی^۳

مهدی حسن پور^۴

۱. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران
۲. کارشناس ارشد محیط‌زیست، اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان، گلستان، ایران
۳. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

*مسئول مکاتبات

hossein.alipour@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۶-۱۰۴۹۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۸

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

مقدمه

آلودگی اکوسیستم‌های آبی توسط فلزات سنگین یک مشکل جهانی است که بعد از انقلاب صنعتی مقدار این عناصر در اکوسیستم‌های آبی به مقدار زیادی افزایش یافته است (علی پور و همکاران، ۱۳۹۲). آلاینده‌های فلزی در اکوسیستم‌های آبی به دلیل پایداری و سمیت به‌عنوان یک خطر جدی برای محیط‌زیست مطرح هستند (Pazhanisamy et al., 2007). پایداری فلزات سنگین سبب وسعت زیاده‌شان در زنجیره غذایی موجودات شده به‌نحوی که مقدار آن‌ها در زنجیره غذایی می‌تواند چندین برابر مقدار آن‌ها در آب باشد (خدابنده، ۱۳۷۹). فلزات نمی‌توانند مانند آلوده‌کننده‌های آلی از طریق شیمیایی یا فرایندهای زیستی در طبیعت تجزیه شوند (دبیری، ۱۳۸۶). فلزات سنگین، شامل عناصر ضروری (مانند روی، مس و...) که در غلظت‌های پایین ضروری بوده و شاید در غلظت‌های بالا سمی باشند و همچنین عناصر غیرضروری (مانند جیوه، سرب، کادمیوم و...) که به‌طور معمول در فعالیت‌های متابولیک موردنیاز نبوده و در غلظت‌های کاملاً پایین هم برای سلول سمی‌اند، می‌باشند (علی پور و همکاران، ۱۳۹۲). در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی انجام شده که پیش‌بینی می‌کند مواد آلوده‌کننده مختلف مانند عناصر فلزی از نواحی صنعتی

و شهری به‌سوی آب‌های ساحلی، دریاها و تالاب‌ها منتقل گردیده که پایش زیستی می‌تواند روش مطلوب و رضایت‌مندی برای اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین و در دسترس بودن زیستی آن‌ها باشد (Barbieri et al., 2006). تالاب‌ها مناطق پویایی هستند که در معرض تأثیرات عوامل طبیعی و انسانی قرار دارند. مواد سمی از منابع مختلفی وارد تالاب‌ها می‌شوند، ولی عمدتاً منشأ آن‌ها ناشی از فعالیت‌های انسانی از جمله رواناب‌های کشاورزی، تخلیه فاضلاب‌های صنعتی و فعالیت‌های معدن‌کاوی می‌باشند (مجنونیان، ۱۳۷۷). از آنجایی که اکوسیستم‌های آبی به‌ویژه تالاب‌ها نقش بسزایی در تأمین غذای انسان دارند، لذا بررسی و پایش وضعیت بهداشتی، آلودگی‌های محیطی و تراکم فلزات سنگین در آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. پایش فلزات مختلف در محیط‌های آبی با اندازه‌گیری غلظت آن‌ها در آب، رسوبات و موجودات زنده موجود در آن‌ها انجام می‌گیرد. معمولاً غلظت فلزات در محیط‌های آبی کمتر است و غلظت‌های بیشتر این فلزات در رسوبات و موجودات زنده مشاهده می‌شود (Namminga and Wilhm, 1997).

میگوی رودخانه‌ای شرق (*Macrobrachium nipponense* De Haan, 1849) (شکل ۱) جزء گونه‌های غیربومی در ایران می‌باشد که خواستگاه اصلی آن کشورهای چین، کره، ویتنام، میانمار و تایلند می‌باشد. این گونه احتمالاً به‌صورت تصادفی وارد آب‌های شیرین و استخرهای پرورش ماهی شده است و در حال حاضر این گونه در ایران از استان گلستان و تالاب انزلی (گرگین و علی‌محمدی، ۱۳۸۳؛ بندانی و همکاران، ۱۳۹۲) گزارش شده است. رژیم غذایی این میگوهای آب شیرین از طریق آنالیز قسمت ابتدایی روده تعیین شده است. این میگو همه‌چیزخوار بوده و از محدوده وسیعی از منابع غذایی شامل موجودات بنتیک، پلاژیک، ماکروفیت‌های تازه، حشرات آبزی، تک‌یاخته‌ای‌ها، سخت‌پوستان، روتیفرها، لارو شیرونومید، دتریتوس‌ها و مواد غیر آلی بهره‌برداری کرده و به‌عنوان یک گونه همه‌چیزخوار در محیط‌های به‌شدت ناهمگن زندگی می‌کند (Minagaw and Wada, 1984). میگوها به علت قرار گرفتن در سطوح بالای زنجیره غذایی و همچنین، جایگاه زیستی از نظر احتمال جذب فلزات سنگین موردتوجه می‌باشند. آگاهی از غلظت فلزات سنگین در میگو با توجه به میزان مصرف آن‌ها می‌تواند در حفظ سلامت جامعه مصرف‌کنندگان این آبزیان ارزشمند، بسیار کمک‌کننده باشد (پورباقر و همکاران، ۱۳۹۳). هدف از این مطالعه بررسی غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در ستون آب، رسوبات سطحی و میگوی رودخانه‌ای شرق در تالاب بین‌المللی آلاگل می‌باشد.

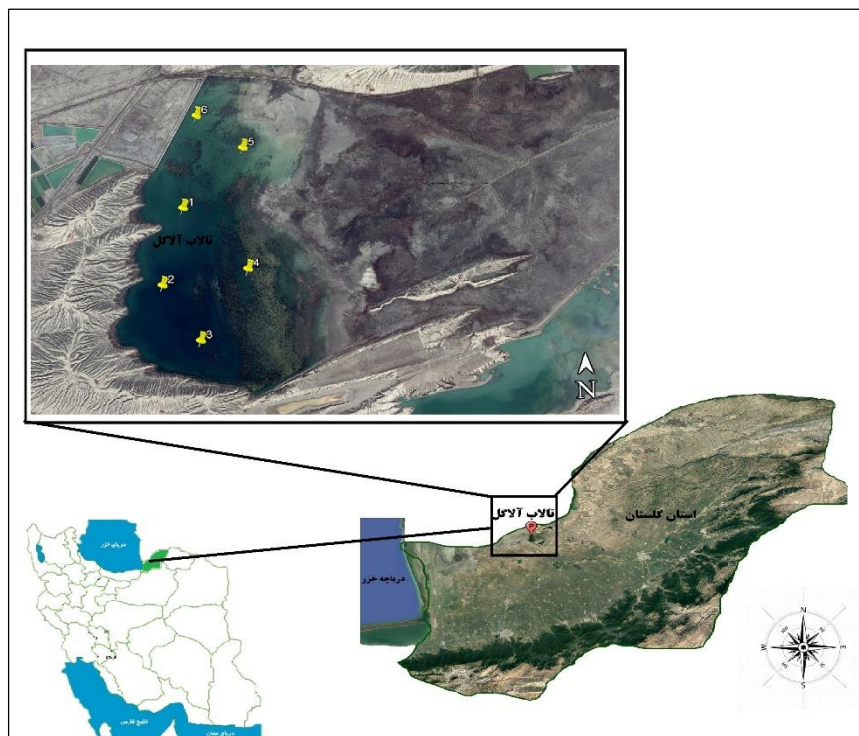


شکل ۱: میگوی رودخانه‌ای شرق (*Macrobrachium nipponense* De Haan, 1849) نر و ماده.

(نر جثه بزرگ‌تری دارد)

مواد و روش‌ها

تالاب آلاگل (شکل ۲) در جنوب روستای اوخی تپه و شرق جاده مرزی آق‌قلا به اینچه برون در بین تپه‌ماهورها در استان گلستان واقع است و موقعیت جغرافیایی آن ۳۷ درجه و ۲۲ دقیقه و ۱۱ ثانیه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۳۵ دقیقه و ۱ ثانیه طول شرقی می‌باشد. تالاب آلاگل منطقه شکار ممنوع است که همراه دو تالاب دیگر (آلماگل و آجی‌گل) در فهرست تالاب‌های مهم بین‌المللی کنوانسیون رامسر ثبت شده است و اهمیت جهانی دارد. ساخت‌وسازهای غیرمجاز در اطراف تالاب، برداشت آب آن برای تکثیر و پرورش ماهی و پساب‌های حاوی سموم و کودهای شیمیایی از عوامل تهدید جدی تالاب بشمار می‌روند (بهروزی‌راد، ۱۳۸۷). نمونه‌گیری از آب، رسوب و میگو در تالاب آلاگل در بهمن ۱۳۹۴ انجام گرفت.



شکل ۲: تصویر تالاب آلاگل در استان گلستان، ایران.

با استفاده از بطری روتنر نمونه‌های آب (۶ ایستگاه با سه تکرار) به میزان یک لیتر از سطح، عمق میانی و نزدیک بستر برای ۳ زمان (۸ صبح، ۱۲ ظهر و ۴ بعدازظهر) تهیه و جداگانه باهم ترکیب شدند. pH نمونه‌ها توسط اسید نیتریک ۱۰ درصد در حد ۲ تنظیم و پس از عبور از کاغذ واتمن ۰/۴۵ میکرومتر تا روز آزمایش درون بطری‌های پلاستیکی و در دمای ۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Majnoni et al., 2015). نمونه‌های رسوب به‌وسیله گراب اکمن (Ekman grab) با سطح دهانه ۲۲۵ سانتی‌متر از ۲۰ سانتی‌متری سطح بستر تهیه شد (۶ ایستگاه با سه تکرار). در هر نقطه مقدار یک کیلوگرم آن درون بطری‌های پلاستیکی تمیز قرار گرفت. پس از ثبت مشخصات در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. مقدار ۵ گرم از رسوب خشک‌شده را توزین و در کوره با دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت نیم ساعت حرارت داده شد. سپس مقداری اسیدکلریدریک (۱:۱) به آن افزوده و در بن ماری در حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار گرفت. بعد از صاف کردن، محتویات روی کاغذ صافی را طی سه مرحله تحت اثر اسید کلریدریک و اسید فلوئوریک قرار داده و بعد در بن ماری تحت حرارت ۷۰ درجه

سانتی‌گراد قرار گرفت. در پایان نمونه‌ها بعد از عبور از صافی با آب غیر یونیزه به حجم ۵۰ سی‌سی رسیده و توسط دستگاه جذب اتمی، غلظت فلزات موردنظر سنجیده شد (USEPA, 2001).

شاخص انباشت ژئوشیمیایی یک روش برای ارزیابی میزان انباشت فلزات سنگین در رسوبات است که با در اختیار داشتن غلظت زمینه‌ای و غلظت فعلی فلزات سنگین در رسوبات از رابطه ۱ قابل محاسبه می‌باشد (Karbassi et al., 2008):

$$Igeo = \ln \frac{Cn}{1.5 \times Bn} \quad \text{رابطه ۱:}$$

=Igeo شاخص انباشت ژئوشیمیایی، =Cn غلظت فلز سنگین در رسوب، =Bn غلظت زمینه‌ای عنصر (میانگین پوسته).

جدول ۱: راهنمای برآورد شدت آلودگی در رسوبات و مواد معلق از شاخص‌های Igeo.

وضعیت آلودگی رسوب یا ذرات معلق	رده Igeo	عدد به‌دست‌آمده
آلودگی بسیار شدید	۶	۵ >
آلودگی شدید تا بسیار شدید	۵	۵-۴ >
آلودگی شدید	۴	۴-۳ >
آلودگی متوسط تا شدید	۳	۳-۲ >
آلودگی متوسط	۲	۲-۱ >
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۱	۱-۰ >
کاملاً غیر آلوده	۰	۰ <

نمونه‌های میگوی رودخانه‌ای شرق تعداد ۳۲ قطعه میگو (۱۶ نر و ۱۶ ماده) با استفاده تله تاشو (Funnel Trap) (بافته ۶ تا ۱۰ میلی‌متر) از تالاب یادشده به طریق تصادفی تهیه شد. میگوها پس از شستشو با آب مقطر درون پلاستیک‌های تمیز قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند. بعد از زیست‌سنجی، عضلات بخش خوراکی (شکمی) آن‌ها به‌دقت خارج شد و درون کیسه‌های پلاستیکی عاری از آلودگی تا زمان آنالیز در دمای ۲۰- نگهداری شدند. نمونه‌ها به‌منظور خشک شدن در دستگاه اتوکلاو به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. نمونه‌های خشک‌شده توسط هاون پودر و سپس الک شدند. برای هضم نمونه مقدار ۰/۵ گرم از ماده خشک‌شده را درون ظروف پلاستیکی ریخته و روی حمام آبی با دمای داخلی ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار دادیم. به ترتیب با ۵ میلی‌لیتر اسید فلئوئوریک، ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک نمونه‌ها هضم شدند. نمونه‌های هضم شده را از کاغذ صافی عبور داده و توسط اسید نیتریک ۰/۴ به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شدند (AOAC, 1990).

محلول استاندارد هر فلز از محلول ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام هر فلز تهیه شد. روی، سرب و کادمیوم در نمونه‌های آب و رسوبات سطحی با استفاده از دستگاه جذب اتمی کوره گرافیتی مدل (GFS97 Thermo Model) و غلظت‌های این عناصر در عضله میگو به روش جذب اتمی شعله ارزیابی شد. غلظت‌های همه فلزات سنگین در بافت میگو (میلی‌گرم بر کیلوگرم) بر اساس وزن خشک ارزیابی شد. صحت سنجی دستگاه نیز ۹۵ – ۹۰ درصد اندازه‌گیری شد.

ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال، توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف موردبررسی قرار گرفت. برای بررسی وجود تفاوت معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین در آب، رسوب و میگو از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده گردید. همچنین از آزمون تعقیبی توکی به‌منظور مقایسه میانگین‌ها استفاده شد ($P < 0/5$). برای بررسی وجود ارتباط معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین بین جنس نر و ماده در میگو از آزمون t-test استفاده گردید. همچنین برای بررسی همبستگی بین فلزات از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۴) صورت گرفت.

نتایج

تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال، توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها دارای توزیع نرمال بودند. نتایج آماری حاصل از زیست‌سنجی میگو در جنس نر و ماده در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میانگین طول کل و وزن در جنس نر نسبت به جنس ماده بیشتر بود ($P < 0/1$).

جدول ۲: نتایج آماری حاصل از زیست‌سنجی میگو در تالاب آلاگل سال ۱۳۹۴. (تعداد: ۱۶ عدد جنس نر و ۱۶ عدد جنس ماده).

متغیر	جنس	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
طول کل (میلی‌متر)	نر	۶۰/۹۰	۶/۸۰	۵۰/۲	۷۰/۴۸
	ماده	۵۸/۸۴	۴/۴۸	۵۱/۹۹	۶۶/۸۷
وزن (گرم)	نر	۲/۱۸	۰/۷۹	۱/۲۲	۳/۴۲
	ماده	۱/۸۸	۰/۵۱	۱/۰۶	۳/۰۹

نتایج میانگین غلظت‌های سرب، کادمیوم و روی در ستون آب، رسوبات سطحی و میگو در تالاب آلاگل در جدول ۳ نشان داده شده است. بررسی غلظت فلزات در آب نشان داد، سرب ($0/11$) بیشترین غلظت و روی ($0/04$) دارای کمترین غلظت بود. ترتیب افزایش غلظت فلزات در آب به‌صورت زیر بود: سرب < کادمیوم < روی. در رسوب و میگو بیشترین غلظت مربوط به روی (به ترتیب $1/87$ و $29/24$) و کمترین غلظت مربوط به کادمیوم (به ترتیب $0/1$ و $0/58$) مشاهده شد. همچنین ترتیب افزایش غلظت فلزات در رسوب و میگو به‌صورت زیر بود: روی < سرب < کادمیوم. مقایسه غلظت فلزات روی، کادمیوم و سرب بین آب، رسوب و میگو نشان داد که افزایش غلظت فلزات مذکور به‌صورت زیر بود: میگو < رسوب < آب. بررسی همبستگی پیرسون بین غلظت‌های سرب، کادمیوم و روی در آب، رسوب و میگو نشان داد که فقط بین غلظت کادمیوم در میگو و غلظت کادمیوم در آب ($P < 0/05$, $r = 0/704$) و همچنین غلظت سرب با کادمیوم در آب ($P < 0/05$, $r = 0/535$) همبستگی معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). مقایسه غلظت فلزات بین جنس نر و ماده میگو نشان داد که غلظت فلزات روی ($P < 0/05$) و سرب ($P < 0/01$) در جنس نر بیشتر از ماده بود، اما غلظت فلز کادمیوم در جنس ماده بیشتر از نر بود ($P < 0/05$) (جدول ۵).

جدول ۳: میانگین غلظت‌های سرب، کادمیوم و روی در ستون آب، رسوبات سطحی و میگو تالاب آلاگل سال ۱۳۹۴.

سرب (انحراف استاندارد)	کادمیوم (انحراف استاندارد)	روی (انحراف استاندارد)	میانگین	آب
$0/11^a$ ($0/03$)	$0/08^a$ ($0/02$)	$0/04^a$ ($0/03$)	کمینه	(میلی گرم بر لیتر)
$0/06$	$0/03$	$0/01$	بیشینه	
$0/17$	$0/11$	$0/12$	WHO (2011)	
$0/01$	$0/003$	۵	معیار حیات آبریان (Aquatic Life Criteria)	استاندارد
$0/065$	$0/0018$	$0/12$	میانگین	رسوب (میلی گرم بر کیلوگرم)
$1/48^b$ ($0/48$)	$0/1^a$ ($0/02$)	$1/87^a$ ($0/55$)	کمینه	
$1/03$	$0/05$	$1/14$	بیشینه	
$2/55$	$0/15$	$2/83$	میانگین پوسته	استاندارد
14	$0/3$	75	میانگین رسوب جهانی	
19	-	95		

سرب (انحراف استاندارد)	کادمیوم (انحراف استاندارد)	روی (انحراف استاندارد)		
-۲/۶۵	-۱/۵۱	-۴/۶۰	Igeo	
(۰/۷) ۲/۸۱ ^c	(۰/۰۵) ۰/۵۸ ^b	(۱۲/۶۸) ۲۹/۲۴ ^b	میانگین	میگو
۱/۶۶	۰/۵۱	۹/۱۶	کمینه	(میلی گرم بر کیلوگرم)
۴/۱۸	۰/۶۷	۴۶/۰۷	بیشینه	
۲	۱	۱۰۰	WHO (1989)	استاندارد

*USEPA (2016)

a,b,c اختلاف معنی‌داری بین آب، رسوب و میگو برای هر فلز.

جدول ۴: همبستگی پیرسون بین غلظت‌های سرب، کادمیوم و روی در ستون آب، رسوبات سطحی و میگو تالاب بین‌المللی آلاگل سال ۱۳۹۴.

میگو (سرب)	رسوب (سرب)	آب (سرب)	میگو (کادمیوم)	رسوب (کادمیوم)	آب (کادمیوم)	میگو (روی)	رسوب (روی)	آب (روی)
۰/۱۲۹	۰/۳۵۵	-۰/۱۷۶	۰/۷۰۴**	۰/۳۵۴	-۰/۱۱۸	-۰/۲۱۴	۰/۰۶۱	۱
۰/۰۵۱	۰/۰۷۶	۰/۰۶۹	۰/۰۷۶	۰/۰۹۵	۰/۲۸۹	۰/۱۳۶	۱	رسوب (روی)
۰/۱۲۸	۰/۱۱۴	۰/۰۱۴	-۰/۱۶۹	-۰/۱۶۶	۰/۰۵۱	۱		میگو (روی)
۰/۱۶۵	-۰/۳۱۹	۰/۵۳۵*	۰/۲۶۶	۰/۱۰۰	۱			آب (کادمیوم)
-۰/۰۶۲	۰/۳۷۰	-۰/۲۰۷	۰/۲۱۷	۱				رسوب (کادمیوم)
۰/۰۵۳	۰/۱۰۷	۰/۱۸۲	۱					میگو (کادمیوم)
۰/۴۲۳	-۰/۳۳۹	۱						آب (سرب)
-۰/۱۳۲	۱							رسوب (سرب)
۱								میگو (سرب)

*معنی‌داری در سطح ۱٪

*معنی‌داری در سطح ۵٪

جدول ۵: مقایسه غلظت فلزات روی، کادمیوم و سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) بین جنس نر و ماده میگو تالاب آلاگل سال ۱۳۹۴.

جنس	روی (انحراف استاندارد)	کادمیوم (انحراف استاندارد)	سرب (انحراف استاندارد)
نر	۳۱/۶۷ (۱۳/۴۵)	۰/۵۴ (۰/۰۳)	۲/۹۱ (۰/۴۱)
ماده	۲۶/۸۱ (۱۲/۲۵)	۰/۶۱ (۰/۰۴)	۲/۷۱ (۰/۹۳)
مقدار P	۰/۷	۰/۹	۰/۰۰۶

بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج غلظت فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم در ستون آب با استاندارد WHO (۲۰۱۱) نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده فلز روی در آب زیر حد استانداردهای توصیه‌شده بود، اما غلظت فلزات سرب و کادمیوم بالاتر از حد استاندارد ارائه‌شده بود. البته استاندارد ارائه‌شده توسط WHO برای آب آشامیدنی می‌باشد. معیار حیات آبیان برای فلزات روی، کادمیوم و سرب در جدول ۳ ارائه‌شده است. درواقع معیار حیات آبیان، میزان غلظت یک آلاینده در آب می‌باشد، پیش از آنکه به گیاهان و جانوران آسیب برساند. این مقادیر توسط USEPA ارائه‌شده است. مقایسه غلظت فلزات در آب با معیار حیات آبیان در این مطالعه نشان داد که غلظت فلز روی در آب کمتر از این معیار بود، درحالی‌که غلظت فلزات کادمیوم و سرب در آب بیشتر از این معیار بوده است. از آب تالاب آلاگل برای کشاورزی و آبی‌پروری و همچنین به‌عنوان آب‌شخور دام‌های اهلی و جانوران وحشی استفاده می‌شود (بهروزی‌راد، ۱۳۸۷). منبع تأمین آب تالاب آلاگل معمولاً نزولات آسمانی، پساب‌های منطقه و سرریزهای رودخانه‌های گرگان رود و اترک می‌باشد (بهروزی‌راد، ۱۳۸۷). کودهای ازته، فسفره و سموم شیمیایی که در زمین‌های کشاورزی و شالیزارهای اطراف تالاب مورد استفاده قرار گرفته و سبب آلودگی رواناب‌های کشاورزی می‌گردند از منابع عمده فلز کادمیوم می‌باشند. همچنین فاضلاب صنایع و سوخت قایق‌های موتوری از منابع آلودگی سرب و کادمیوم در این تالاب هستند. بالا بودن فلزات سرب و کادمیوم در آب تالاب آلاگل را می‌توان با موارد ذکر شده مرتبط دانست. مقایسه میانگین داده‌های غلظت فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم در آب تالاب آلاگل با تحقیقات انجام‌شده در تالاب زریوار (مجنونی، ۱۳۹۱) نشان داد که غلظت این سه فلز در تالاب آلاگل از تالاب زریوار کمتر بوده است. همچنین داده‌های به‌دست‌آمده در مقایسه با تحقیقات انجام‌شده در تالاب گمیشان در فصل زمستان نشانگر آن است که متوسط غلظت سه فلز سرب، کادمیوم و روی در مطالعه حاضر از تالاب گمیشان کمتر است (بندانی و همکاران، ۱۳۸۷). در هر دو مطالعه ذکر شده، ترتیب افزایش غلظت فلزات در آب به‌صورت زیر بود: سرب < کادمیوم < روی که با مطالعه حاضر مطابقت داشت.

در مطالعه حاضر، میانگین غلظت فلزات سنگین روی، کادمیوم و سرب در رسوب تالاب آلاگل به ترتیب ۱/۸۷، ۰/۱ و ۱/۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. غلظت فلزات روی، کادمیوم و سرب در مقایسه با میانگین پوسته و رسوب جهانی بسیار پایین‌تر بودند. همچنین مقایسه غلظت فلزات رسوب با آب نشان داد که این مقادیر در رسوبات بیشتر بود. این اختلاف در فلز روی و کادمیوم غیر معنی‌دار ($P < 0.05$) و در سرب معنی‌دار بود ($P < 0.05$). دلایل آن قابلیت ته‌نشین شدن و جرم اتمی این گروه فلزات است. یک عامل خیلی مهم در این زمینه زمان تلقی می‌شود، زیرا مقادیر فلزات در رسوب به‌شدت تابع وزن، جرم و گذشت زمان است؛ اما در آب تابع شرایط و آلودگی‌های جدید می‌باشد (بندانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). ارزیابی همبستگی پیرسون بین رسوب و آب در تالاب آلاگل نشان داد که بین فلزات روی، کادمیوم و سرب همبستگی معنی‌داری وجود نداشت ($P < 0.05$).

در تالاب آلاگل مطالعه‌ای بر روی آلاینده‌های فلزی صورت نگرفته است یا حداقل تاکنون منتشر نشده است تا بتوان مقایسه‌ای با آن صورت گیرد، اما مطالعات متعددی در مورد غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب سایر نقاط کشور گزارش شده است. حسن‌پور و همکاران (۱۳۹۰) غلظت فلزات روی، کادمیوم و سرب را در جنوب شرقی دریاچه خزر مورد بررسی قرار دادند. گزارش ایشان نشان داد، میانگین غلظت فلزات در آب به ترتیب ۰/۰۹۳، ۰/۱۰۱ و ۰/۱۵۴ میلی‌گرم بر لیتر و در رسوب به ترتیب ۲/۰۴، ۰/۱۴۱ و ۱/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در مقایسه با مطالعه حاضر، غلظت فلزات موردنظر در مطالعه ایشان بیشتر بود. رجایی و همکاران (۱۳۹۱) میزان غلظت فلزات روی، کادمیوم و سرب را در خلیج گرگان اندازه‌گیری کردند که میانگین غلظت فلزات روی، کادمیوم و سرب به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۰۴ و ۰/۱۶۱ میلی‌گرم بر لیتر برای آب و ۲/۵۲، ۰/۱۴۶ و ۲/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای رسوب گزارش شد. نتایج گزارش ایشان نیز بیانگر آن است که میانگین غلظت فلزات ذکر شده در رسوبات بیشتر از آب بوده که مشابه نتایج مطالعه حاضر است.

بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده در جدول ۳ و مقایسه با جدول راهنمای شدت آلودگی رسوبات (جدول ۱) مشاهده می‌شود که روند تغییرات شاخص انباشت ژئوشیمیایی در منطقه نشانگر عدم وجود انباشت فلزات (سرب، کادمیوم و روی) در رسوبات، بیشتر از مقادیر زمینه‌ای می‌باشد. شاخص انباشت ژئوشیمیایی برای فلزات سرب، کادمیوم و روی در تالاب آلاگل عددی منفی را به خود اختصاص داده است، این امر بیانگر عدم آلودگی رسوبات منطقه به فلزات مذکور است.

دامنه غلظت فلزات روی، کادمیوم و سرب در میگو به ترتیب ۹/۱۶-۴۶/۰۷، ۵۱/۰-۰/۶۷ و ۴/۱۸-۱/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد (جدول ۳). مقایسه نتایج غلظت فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم در میگو با استاندارد WHO (۱۹۸۹) نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده میانگین غلظت فلزات روی و کادمیوم در میگو زیر حد استانداردهای توصیه‌شده بود، اما میانگین غلظت فلز سرب بالاتر از حد استاندارد ارائه‌شده بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، غلظت بیشینه فلز سرب در میگو حدود ۲ برابر نسبت به استاندارد WHO بیشتر است که این مقدار غلظت نگران‌کننده است. مقایسه بین جنس نر و ماده میگو نشان داد که غلظت فلزات روی و سرب در جنس نر بیشتر بود، درحالی‌که غلظت فلز کادمیوم در جنس ماده نسبت به جنس نر بیشتر بود. البته فقط در فلز سرب این اختلاف معنی‌دار بود ($P < 0.01$). در ایران مطالعه‌ای جهت تعیین غلظت فلزات سنگین در میگوی رودخانه‌ای شرق هنوز منتشر نشده است. Fu و همکاران (۲۰۱۳) غلظت فلزات روی، کادمیوم و سرب را در دریاچه تایهو (Taihu Lake) چین مورد بررسی قرار دادند. گزارش ایشان نشان داد، میانگین غلظت فلزات در میگوی رودخانه‌ای شرق به ترتیب ۱۴۷/۱۸، ۱/۷۶ و ۲۷/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود که در مقایسه با مطالعه حاضر، غلظت فلزات موردنظر در مطالعه ایشان بسیار بیشتر بود.

میانگین غلظت فلزات روی، کادمیوم و سرب در میگو در مقایسه با غلظت فلزات مذکور در آب و رسوب تالاب آلاگل بیشتر بود ($P < 0.01$). نوع تغذیه موجود زنده در میزان جذب و ذخیره‌سازی فلزات سنگین مؤثر است. اینکه یک موجود چگونه در معرض یک آلاینده قرار بگیرد بسته به اینکه در سطح رسوب، یا بین رسوب و یا در ستون آب قرار گیرد، متفاوت است. موجوداتی که از بستر آب تغذیه می‌کنند نسبت به موجودات سطحی زی جذب بیشتری از فلزات سنگین را خواهند داشت. چراکه قسمت اعظم فلزات سنگین با ذرات معلق آب تشکیل کمپلکس داده، رسوب کرده و از ستون آب خارج می‌شوند و با تجمع در رسوبات کف، موجودات کفزی‌خوار میزان بیشتری از آن را دریافت خواهند کرد (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). این میگو همه‌چیزخوار بوده و از محدوده وسیعی از منابع غذایی استفاده می‌کند و زیستگاه این میگو عمدتاً در رسوبات سطحی است و می‌تواند تجمع بیشتری از فلزات را در بدن خود داشته باشد. به عبارت دیگر بی‌مهرگانی که از سطح بستر تغذیه می‌کنند در تماس بیشتر با فلزات سنگین هستند.

در پایان می‌توان گفت با توجه به اینکه فلز روی یک عنصر مغذی است و برای فعل‌وانفعالات شیمیایی موجودات موردنیاز می‌باشد و همچنین غلظت این فلز در آب، رسوب و میگو در تالاب آلاگل پایین‌تر از حد استانداردهای ارائه‌شده بود، دارای کمترین نگرانی است. فلزات کادمیوم و سرب جزء عناصر سمی هستند که در مقادیر کم نیز برای اکوسیستم مضر می‌باشند. هرچند غلظت فلز کادمیوم در رسوب و میگوی تالاب آلاگل پایین‌تر از حد استاندارد بود، اما غلظت آن در آب بیشتر از استاندارد ارائه‌شده بود. در مورد فلز سرب، غلظت آن در آب و میگو بالاتر از حد استاندارد بود که مقادیر آن بسیار نگران‌کننده است، البته میزان غلظت سرب در رسوب پایین‌تر بود. با توجه به اینکه آب تالاب آلاگل جهت آبشخور حیوانات اهلی، آبی‌پروری و کشاورزی استفاده می‌شود و این مواد غذایی به مصرف انسان می‌رسد، نیازمند آن است که تالاب آلاگل مورد پایش مستمر برای سایر فلزات و آلاینده‌های احتمالی قرار گیرد.

منابع

- بندانی، غ. شکرزاده، م.، رستمی، ح.، یلقی، س.، بابایی، م.، باقری، ا. و سهیل، س.، ۱۳۸۷. پروژه بررسی و مقایسه سطح فلزات سنگین در رسوب، آب و ماهیان پرمصرف حاشیه جنوبی دریای خزر در استان گلستان. انتشارات اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گلستان، صفحات ۹۲-۱۲.
- بندانی، غ.، رستمی، ح.، صدیقی، ا.، میرشکار، د. و قربانی، ر.، ۱۳۹۲. مقایسه ساختار طولی و وزنی *Macrobrachium nipponense* در تالاب‌های آلاکل، آلامگل و آجی گل استان گلستان. مجله شیلات، ۳۷(۳): ۸۵-۹۴.
- بهروزی‌راد، ب.، ۱۳۸۷. تالاب‌های ایران. چاپ اول، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران، ۷۹۸ ص.
- پورباقر، ه.، حسینی، و.، خراسانی، ن.، حسینی، م. و دلفیه، پ.، ۱۳۹۳. مقدار فلزات سنگین در عضله میگوی سفید هندی (*Fennerpenaeus indicus*). شیلات (منابع طبیعی ایران)، ۶۷(۱): ۱۳-۲۴.
- حسن پور، م.، پورخباز، ع.، ابراهیم‌پورکاسمانی، م. و قربانی، ر.، ۱۳۹۰. بررسی سطح فلزات سنگین در رسوب، آب و پرندگان آبزی جنوب شرقی دریای خزر در استان گلستان (مطالعه موردی تالاب بین‌المللی گمیسان و خلیج گرگان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، ۱۰۰ ص.
- خدابنده، ص.، ۱۳۷۹. تجمع فلزات سنگین در رسوبات و آبزیان دریای خزر. آب و فاضلاب، ۴۲: ۱۹-۲۹.
- دبیری، م.، ۱۳۸۶. آلودگی محیط‌زیست (هوا- آب- خاک- صوت). چاپ سوم، انتشارات اتحاد، تهران، ۳۹۹ ص.
- رجایی، ق.، حسن پور، م. و مهدی‌نژاد، م.، ۱۳۹۱. بررسی غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کروم و کادمیوم در آب و رسوب خلیج گرگان و مصب رودخانه گرگان رود، مجله تحقیقات نظام سلامت، ۸(۵): ۷۵۶-۷۴۸.
- علی‌پور، ح.، پورخباز، ع. و حسن‌پور، م.، ۱۳۹۲. سنجش تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت‌های *Rutilus rutilus caspicus* و *Neogobius gorlap* در تالاب بین‌المللی میانکاله. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، ۸۸ ص.
- گرگین، س. و علی‌محمدی، ا.، ۱۳۸۳. نخستین گزارش از وجود میگوی *Macrobrachium nipponense* (De Haan, 1849) در ایران و مقایسه مورفولوژیک آن با گونه *Macrobrachium rosenberhii* (De Man, 1879). پژوهش و سازندگی، ۱۷(۴): ۵۹-۵۷.
- مجنونی، ف.، رضایی، م. ر. و ناصری، م. ع.، ۱۳۹۱. مطالعه برخی فلزات سنگین در آب و رسوبات پناهگاه حیات‌وحش زریوار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، ۱۱۹ ص.
- مجنونیان، ه.، ۱۳۷۷. طبقه‌بندی و حفاظت تالاب‌ها (ارزش‌ها و کارکردها). چاپ اول، انتشارات سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ۱۷۰ ص.
- AOAC, 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. Washington, DC.
- Barbieri, E., Garcia, C. A. B., Passos E. D. A., Aragao, K. A. S. and Hora Alves, J. D. P., 2006. Heavy metal concentration in tissues of puffinus gravis sampled on the Brazilian coast. Revista Brasileira de Ornitologia, 15(1):69-72.
- Fu, J., Hu, X., Tao, X., Yu, H. and Zhang, X., 2013. Risk and toxicity assessments of heavy metals in sediments and fishes from the Yangtze River and Taihu Lake, China. Chemosphere, 93(9):1887-95.
- Karbassi, A., Monavari, S., Bidhendi, G. R. N., Nouri, J. and Nematpour, K., 2008. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River, Environmental monitoring and assessment, 147(1-3):107-16.
- Majnoni, F., Alipour, H., Hassanpour, M., Banagar, G. and Ajourlo, M., 2015. Assessment of Cd, Cr and Pb Pollution in Sediment and Water of Gheshlagh River, Iran, in September 2013. Iranian Journal of Toxicology, 9(28):1264-127.
- Minagaw, M. and Wada, E., 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. Geochimica et Cosmochimica Acta, 48 (5): 1135-1140.
- Namminga, H. E. and Wilhm, J., 1997. Effects of high discharge and oil refinery cleanup operation on heavy metals in water and sediments in Skeleton Creek. Proceedings of the Oklahoma Academy of Science, 56: 133-138.
- Pazhanisamy, K., Vasanth, M. and Indra, N., 2007. Bioaccumulation of arsenic in the freshwater fish Labeo Rohita (HAM). The Bioscan, 2(1): 67-69.

USEPA, 2001. Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual. EPA 823-B-01-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.

USEPA, 2016. National recommended water quality criteria - aquatic life criteria table. United States Environmental Protection Agency. Office of Water, Office of Science and Technology.

WHO, 1989. Heavy metals-environmental aspects. Environment Health Criteria No. 85, Geneva.

WHO, 2011. Guidelines for drinking water quality, Library Cataloguing-in-Publication Data, 4th ed. NLM classification: WA 675. Geneva.